

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas merupakan gas yang dilepaskan oleh bahan – bahan organik (seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam, dan daun – daun hasil sortiran sayur) yang difermentasi atau mengalami proses metanisasi. Biogas terdiri dari campuran metana (50 – 75 %), CO₂ (25 – 45%), serta sejumlah kecil H₂, N₂, dan H₂S (Hambali *et al.* 2007, hal: 52).

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi. Metana yang memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan oleh jumlah karbondioksida yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek ialah lebih sedikit (Suyitno *et al.*, 2010, hal: 2)

Dalam aplikasinya, biogas digunakan sebagai gas alternatif untuk memanaskan dan menghasilkan energi listrik. Kemampuan biogas sebagai sumber energi sangat tergantung dari jumlah gas metana. Setiap 1 m³ metana setara dengan 10 kWh. Nilai ini setara dengan 0,6 liter *fuel oil*. Sebagai pembangkit tenaga listrik, energi yang dihasilkan oleh biogas setara dengan 60 – 100 watt lampu selama 6 jam penerangan. Pada tabel 2.1 berikut ini, dapat diketahui bahwa nilai kesetaraan biogas dan energi yang dihasilkan (Hambali *et al.*, 2007, hal: 53).

Tabel 2.1 Nilai kesetaraan biogas dan energi yang dihasilkan

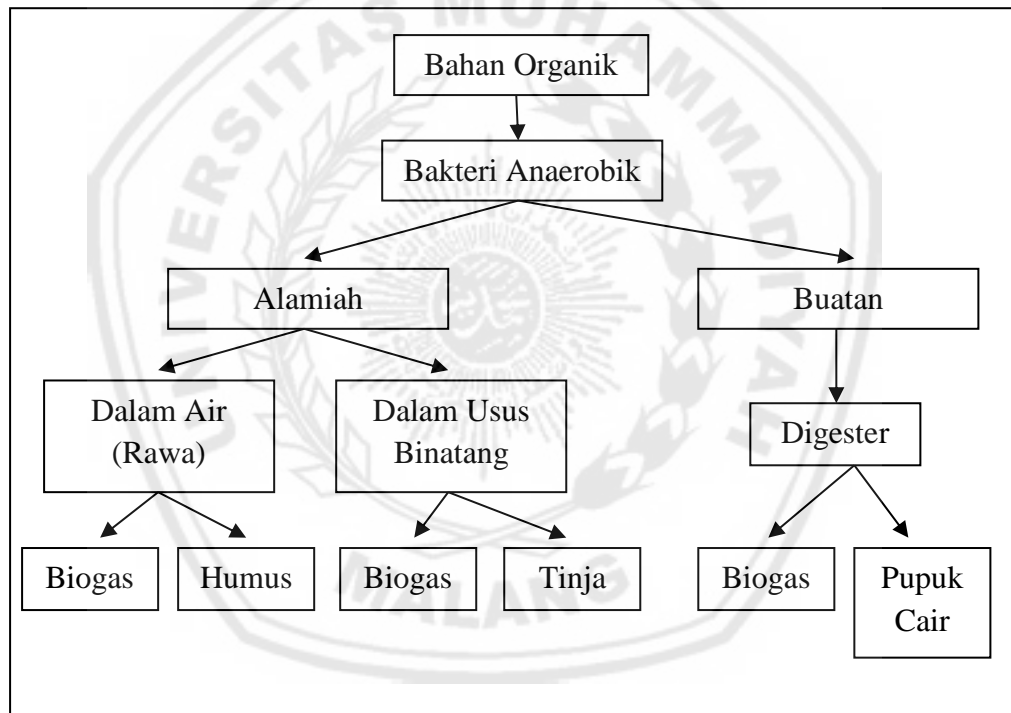
Aplikasi	1 m ³ Biogas Setara dengan
Penerangan	60 – 100 watt lampu <i>bohlam</i> selama 6 jam
Memasak	Dapat memasak tiga jenis makanan untuk keluarga (5 – 6 orang)

Pengganti bahan bakar tenaga	0,7 kg minyak tanah dapat menjalankan satu motor tenaga kuda selama 2 jam
Pembangkit tenaga listrik	Dapat menghasilkan 1,25 kWh listrik

Sumber : Hambali et al, 2007, hal: 53

2.1.1 Digestifikasi Anaerobik

Digestifikasi anaerobik ialah proses pembusukan bahan bakar organik oleh bakteri pada kondisi tanpa udara, yang menghasilkan biogas dan pupuk cair. Ada dua jenis digestifikasi anaerobik, yaitu alamiah dan buatan seperti terlihat pada gambar 2.1 (Waskito, 2011, hal: 7).



Gambar 2.1 Proses digestifikasi anaerobik

2.1.2 Bahan Baku Pembuatan Biogas

Bahan baku yang dapat dibuat biogas ialah bahan organik. Beberapa daftar bahan organik yang dapat dibuat menjadi biogas ialah biomasa, kotoran manusia, kotoran hewan, urin, sampah kota yang berbentuk organik, dan sampah produk pertanian. Di Indonesia, jenis kotoran yang umum digunakan untuk menghasilkan biogas ialah kotoran sapi.

Tabel 2.2 menunjukkan spesifikasi kotoran sapi yang dihasilkan dari sapi dengan bobot waktu hidup 635 kg untuk setiap harinya. Besarnya padatan (TS) umumnya dapat juga diperkirakan sekitar 10 – 15 % dari massa kotoran awal. Sedangkan besarnya padatan volatil dapat diperkirakan sebesar 8 – 10 % dari massa kotoran awal.

Tabel 2.2 Spesifikasi kotoran sapi dengan bobot total 635 kg

Spesifikasi	Sapi dengan bobot 635 kg
Kotoran	50,8 kg
Kotoran	51,1 liter
Padatan total (total solid, TS)	6,35 kg
Padatan Volatil (vilatile solid, VS)	5,4 kg

Sumber : Suyitno, et al. 2010, hal: 5

Sebagai acuan, untuk setiap ekor sapi pada umumnya mampu menghasilkan kotoran sebanyak 5 – 40 kg per hari. Secara nyata, tidak dapat dipastikan berapa kotoran yang dihasilkan oleh hewan untuk setiap harinya karena tergantung banyak hal, seperti kondisi hewan, pola makan dari hewan, jenis makanan, jenis kandang, jenis lantai, dan lainnya. Untuk tujuan perancangan *digester* yang lebih baik, maka jumlah kotoran dari hewan dapat diukur atau ditimbang secara berkala. Langkah ini walaupun tidak umum, tetapi mampu memberikan data yang lebih baik sehingga rancangan dari *digester* dan produksi biogasnya nanti tidak berlebihan atau sebaliknya supaya tidak kekurangan bahan baku.

Beberapa peneliti mengusulkan metode lain untuk menentukan jumlah kotoran yang dihasilkan dari makhluk hidup. Metode yang diusulkan ialah dengan membuat persentase dari bobot makhluk hidup tersebut.

1. Untuk sapi dengan bobot hidup 135 – 800 kg dan kerbau dengan bobot 340 – 420 kg dapat menghasilkan kotoran 5 % dan *urine* 4 – 5 % dari bobot tersebut.
2. Untuk babi dengan bobot 30 – 75 kg dapat menghasilkan kotoran sebanyak 2 % dan *urine* 3 % dari bobot tersebut.

3. Untuk domba atau kambing dengan bobot 30 – 100 kg dapat menghasilkan kotoran sebanyak 3 % dan *urine* 1 – 1,5 % dari bobot tersebut.
4. Untuk ayam dengan bobot 1,5 – 2 kg dapat menghasilkan kotoran sebanyak 4,5% dari bobotnya.
5. Untuk manusia dengan bobot 50 – 80 kg dapat menghasilkan kotoran sebanyak 1 % dan *urine* sebanyak 2 % dari bobotnya.

Tabel 2.3 Komponen padatan volatil (VS)

Komponen	% VS
Selulosa	31,0
Hemiselulosa	12,0
Lignin	12,2
Kanji	12,5
Protein	12,5
Eter	2,6
Amonia	0,5
Asam	0,1
Total	83,4

Sumber : Uli Werner, 1989, hal 22

Dari jumlah kotoran yang dihasilkan yang berperan dalam menghasilkan biogas ialah komponen padatan total (TS). Di dalam padatan total (TS) terdapat padatan volatil (VS). Komponen dari padatan volatil (VS) secara umum terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, kanji, protein, eter, amonia, dan asam. Komponen terbesar dari VS ialah selulosa sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.4. Besarnya VS ialah sekitar 83,4 % TS. Dengan mengingat bahwa TS dari kotoran hewan tidak jauh dari 10%, maka dalam *biodigester* perlu ditambahkan beberapa sisa makanan hewan selain mengandung C/N tinggi juga mempunyai potensi produksi biogas yang tinggi karena mengandung TS yang tinggi (lihat tabel 2.4).

Tabel 2.4 TS beberapa material organik lain selain kotoran hewan

Material	TS (%)	VS (%TS)
Jerami padi	89	93
Jeramai gandum	82	94
Jerami jagung	80	91
Rumput segar	24	89
Bagase	65	78
Sisa sayuran	12	86

Sumber : Uli Werner, 1989, hal 23

Penting diperhatikan bahwa konsentrasi TS hendaknya dijaga tidak lebih dari 15 % karena akan menghambat metabolisme. Pada saat memasukan material organik ke dalam *biodigester* wajib ditambahkan sejumlah air. Fungsi air disini selain untuk mempertahankan TS < 15 %, juga untuk mempermudah proses pencampuran dan proses mengalirnya material ke dalam *biodigester*. Fungsi lainnya ialah untuk mempermudah aliran gas yang terbentuk di bagian bawah dan dapat mengalir ke bagian atas *biodigester*.

Tabel 2.5 Kadar selulosa, hemiselulosa, dan liginin dalam biogas

Material	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Kayu	40 – 50	15 – 25	15 – 30
Tongkol jagung	45	35	15
Jermai padi	32,1	24	18
Bagase	33,4	30	18,9
Dedaunan	15 – 20	80 – 85	0
Jerami gandum	30	50	15
Rumput	45	31,4	12

Sumber : Suyitno. 2010

Selulosa dan hemiselulosa dapat diuraikan oleh bakteri dalam *biodigester* sedangkan lignin tidak dapat diuraikan. Biomasa termasuk bahan organik yang mengandung lignin dalam jumlah yang besar sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.5. Sehingga jika beberapa material organik yang mengandung lignin

dalam jumlah tinggi misalnya biomasa, maka dari material organik jenis ini, biogas yang dihasilkan jumlahnya rendah.

2.1.3 Perbandingan Nilai Kandungan C (karbon) dan N(nitrogen) Pada Biogas

Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20 – 30 (Sasse, 1998) atau 20 – 25 (Dennis A., 2001). Perbandingan C dan N dalam bahan biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan menguraikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8, dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan (Uli Werner, 1989, hal: 24). Pada perbandingan C/N lebih dari 43 mengakibatkan kerja bakteri juga terhambat (Dennis A., 2001). Walaupun demikian, parameter ini bukan jaminan satu – satunya untuk kualitas biogas yang tinggi karena masih terdapat beberapa parameter lain yang harus diperhatikan khususnya pada reaktor biogas (*biodigester*).

Untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya : urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N 20 – 30. Tabel 2.6 ialah harga rasio C/N pada beberapa jenis kotoran hewan.

Tabel 2.6 Rasio C/N untuk beberapa bahan organik

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Urine	0,8
Kotoran sapi	10 – 20
Kotoran babi	9 – 13
Kotoran ayam	5 – 8
Kotoran kambing	30
Kotoran manusia	8
Jerami padi – padian	80 – 140
Jerami Jagung	30 – 65
Rumput hijau	12

Tidak semua bahan organik terurai menjadi gas dalam *digester anaerob*. Bakteri *anaerob* tidak menguraikan lignin dan beberapa jenis hidrokarbon. *Digester* yang berisi kotoran yang mengandung nitrogen tinggi dan belerang yang rendah dapat menghasilkan racun berupa amonia dan H_2S . Kotoran yang tidak bercampur dengan air akan terurai dengan lambat.

Perlu ditekankan disini bahwa proses fermentasi dalam *biodigester* sendiri berlangsung secara alami. Mikroba (bakteri) yang berfungsi untuk menguraikan bahan organik juga dapat terbentuk secara alami asalkan kondisi *biodigester* terpenuhi untuk tumbuhnya bakteri tersebut. Ciri fisik yang terlihat dari terjadinya proses fermentasi alami ialah terbentuknya gelembung pada permukaan air.

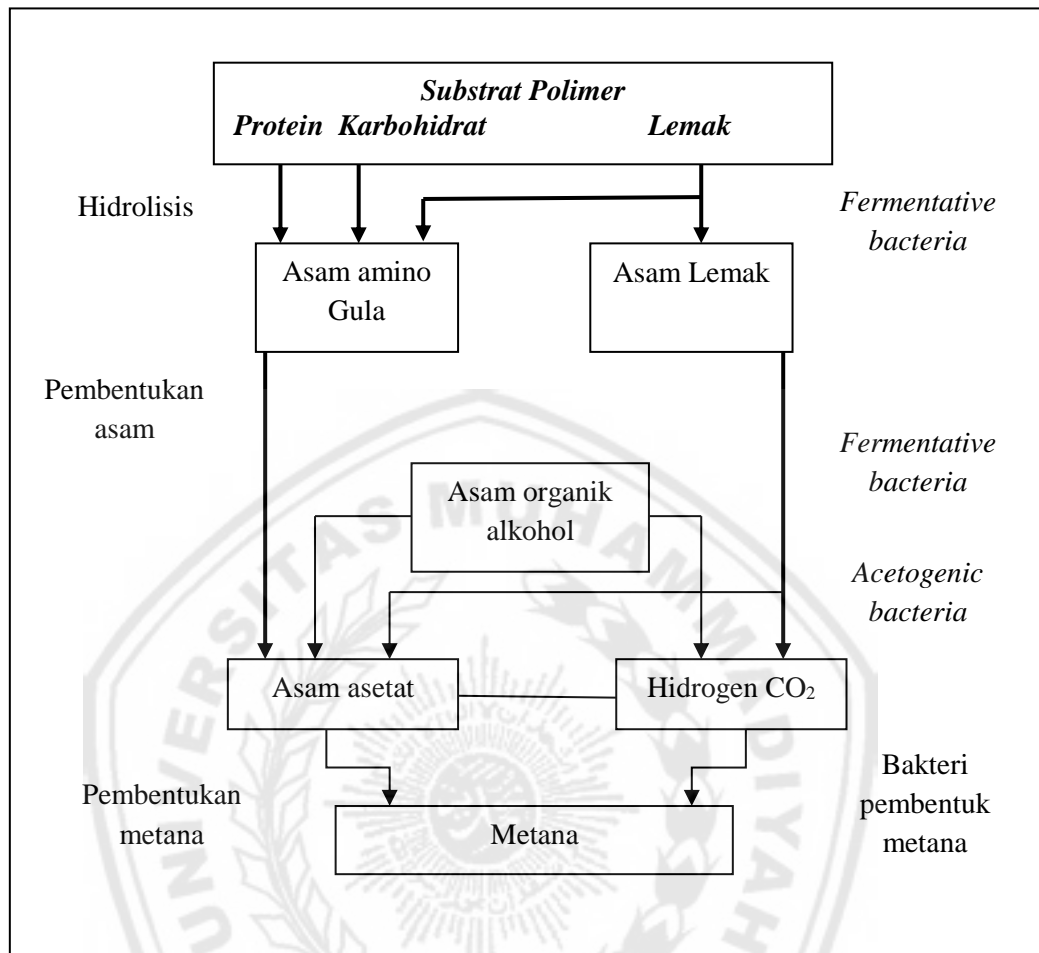
2.1.4 Proses Pembuatan Biogas

Proses pembuatan biogas sangat sederhana dan mudah. Cara yang paling umum digunakan yaitu fermentasi terhadap bahan – bahan organik seperti sampah dan kotoran hewan secara anaerobik didalam *digester*.

Dalam pembuatan biogas terdapat dua macam bakteri yang umum digunakan, yaitu bakteri pembentuk asam dan bakteri pembentuk gas metana. Bakteri pembentuk asam antara lain *psedimonas*, *escherichia*, *flavobacterium*, dan *alcaligenes*. Bakteri – bakteri tersebut akan mendegradasi bahan – bahan organik menjadi asam – asam lemah. Selanjutnya, asam – asam tersebut didegradasi menjadi metana oleh bakteri pembentuk gas metana seperti *methanobacterium*, *methanosarcina*, dan *methanococcus* (Hambali, et al. 2007, hal: 55).

Penguraian bahan – bahan organik menjadi biogas melalui tiga proses utama, yaitu hidrolisis, asidifikasi, dan metanisasi/fermentasi. Pada tahap hidrolisis terjadi penguraian senyawa rantai panjang (seperti lemak, protein, dan karbohidrat) menjadi senyawa – senyawa yang lebih sederhana. Dalam tahap asidifikasi terjadi proses pembentukan asam – asam organik dan pertumbuhan atau perkembangan sel bakteri, sedangkan pada tahap metanisasi terjadi perkembangan

sel mikroorganisme yang menghasilkan gas metana sebagai komponen utama biogas.



Gambar 2.2 Proses produksi gas metana (biogas)

Sumber : Hambali, et al. 2007, hal: 54

Secara umum kondisi operasi yang perlu diperhatikan dalam memproduksi biogas ialah temperatur, pH, pengadukan, dan bahan – bahan penghambat. Perkembangbiakan bakteri sangat dipengaruhi oleh temperatur. Pencernaan anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu 5°C sampai 55°C. adapun temperatur optimum untuk menghasilkan biogas ialah 35°C.

Pengadukan berfungsi untuk memecah lapisan kerak dipermukaan cairan dalam sistem yang menggunakan bahan baku yang sukar dicerna (misalnya jerami yang mengandung senyawa lignin). Lapisan kerak tersebut perlu dipecah agar mengurangi hambatan terhadap laju biogas yang dihasilkan. Bahan penghambat ialah bahan – bahan yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme

sehingga berpengaruh terhadap jumlah biogas yang dihasilkan. Bahan penghambat ini seperti logam berat (tembaga, cadmium, dan kromium), disinfektan, detergen, dan antibiotik. Karena itu, dalam proses pembuatan biogas tersebut perlu diperhatikan air yang digunakan sebagai pelarut atau pencampur.

Pembuatan biogas dengan cara pertama (penghancur dalam digester) memberikan beberapa keuntungan sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan metana yang bisa digunakan sebagai bahan bakar.
2. Sampah berubah menjadi *slurry* yang kaya nutrisi dan cocok digunakan sebagai pupuk.
3. Selama proses penghancuran, bakteri – bakteri patogen dalam kotoran, seperti *e-coli*, terbunuh sehingga dapat menyehatkan lingkungan.

Pemrosesan kotoran – kotoran hewan dan sampah menjadi biogas dapat mengurangi produksi gas metan. Gas ini merupakan penyumbang terbesar pada efek rumah kaca, bahkan lebih besar dibandingkan dengan CO₂.

2.1.5 Komposisi Biogas

Komposisi dan produktivitas sistem biogas dipengaruhi oleh parameter – parameter seperti temperatur digester, pH (tingkat keasaman), tekanan, dan kelembapan udara. Komponen biogas yang paling penting ialah metana (CH₄). Tabel 2.7 ialah gambaran komposisi biogas dari Kaltschmitt dan Hartmann tahun 2001 dimana biogas tersusun dari 50 - 75% CH₄.

Tabel 2.7 Komposisi gas bio

Komponen	Konsentrasi
Metana	50 – 75 % vol.
Karbondioksida	25 – 45 % vol
Air	2 – 7 % vol. (20 – 40°C)
Hidrogen sulfide	20 – 20.000 ppm

Nitrogen	< 2 % vol.
Oksigen	< 2 % vol.
Hidrogen	< 1 % vol.

Sumber : Hambali et al, 2007, hal: 53

Biogas berbeda dengan gas alam dan gas kota. Beberapa perbedaan sifat dari biogas, gas kota, dan gas alam dapat dilihat pada tabel 2.8. Biogas mempunyai nilai kalor sedang dan besarnya sangat tergantung dari kandungan CH_4 dalam biogas. Massa jenis biogas sedikit lebih tinggi dari massa jenis udara. Jika dibakar, biogas mempunyai kecepatan maksimum yang rendah, yaitu sekitar 0,25 m/s.

Tabel 2.8 Perbandingan sifat biogas, gas alam, dan gas kota

Parameter	Biogas (60% CH_4)	Gas Alam	Gas Kota
Nilai kalor bawah (MJ/m^3)	21,48	36,14	16,1
Massa jenis (kg/m^3)	1,21	0,82	0,51
Indeks Wobbe bawah (MJ/m^3)	19,5	39,9	22,5
Kecepatan penyalaan maksimum (m/s)	0,25	0,39	0,70
Kebutuhan udara teoritis (m^3 udara/ m^3 gas)	5,71	9,53	3,83
Konsentrasi maksimum CO_2 dalam cerobong (vol%)	17,8	11,9	13,1
Titik embun ($^{\circ}\text{C}$)	60 – 160	59	60

Sumber (Wellinger, 2001)

Kandungan *methane* yang cukup tinggi dalam biogas dapat menggantikan peran LPG dan petrol (bensin). Tetapi dalam biogas terdapat kandungan lain

selain *methane* yang perlu adanya proses pemurnian. Gas tersebut ialah gas H_2S yang dianggap sebagai pengotor dan bila ikut terbakar dan terbebas dengan udara dapat teroksidasi menjadi SO_2 dan SO_3 yang bersifat korosif dan bila teroksidasi lebih lanjut oleh H_2O dapat memicu hujan asam. Selain H_2S terdapat juga uap air dan CO_2 yang bermanfaat saat pembakaran. Biogas yang mengandung sejumlah H_2O dapat berkurang nilai kalornya. Gas H_2O sebagaimana gas H_2S yang perlu dibersihkan dari biogas.

2.1.6 Teknik Pemanfaatan Biogas

Biogas dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, diantaranya ialah:

1. Sumber bahan bakar gas digunakan untuk kompor rumah tangga, penerangan, pemanas air, dan lainnya.
2. Sumber bahan bakar gas untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan misalnya pemanas air, pemanas udara, pengering, dan lainnya.
3. Sumber bahan bakar gas untuk menggerakkan motor bakar, turbin, dan lainnya yang kemudian torsi yang diperoleh dapat digunakan untuk menggerakkan pompa atau mesin – mesin yang lain.
4. Torsi dari motor bakar dan turbin berbahan bakar biogas selanjutnya dapat dipergunakan untuk menggerakkan generator dan diperoleh listrik.

Secara teoritis dapat dibuat suatu prediksi umum bahwa (Uli Werner, 1989):

1. Untuk keperluan memasak, 1 orang rata – rata per hari membutuhkan biogas sebanyak $0,1 - 0,3 \text{ m}^3$.
2. Untuk penerangan (lampu *petromaks*), rata – rata membutuhkan biogas sebanyak $0,1 - 0,15 \text{ m}^3$ per jam. Pendapat lain mengatakan bahwa 1 m^3 dapat digunakan untuk penerangan yang sebanding dengan lampu 60 – 100 W selama 6 jam.
3. Untuk pengganti bahan bakar bensin sebanyak 0,7 kg dibutuhkan biogas sebanyak 1 m^3 .

4. Untuk menggerakkan motor 1 hp selama 2 jam dibutuhkan biogas sebanyak 1 m³.
5. Untuk pembangkit listrik dengan motor bakar dibutuhkan biogas sebanyak 0,6 m³ per kWh.

2.2 Biodigester

Biodigester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. *Biodigester* merupakan tempat dimana material organik diurai bakteri secara *anaerob* (tanpa udara) menjadi gas CH₄ dan CO₂. *Biodigester* harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi *anaerob* dapat berjalan baik. Pada umumnya, biogas dapat terbentuk pada 4 – 5 hari setelah *digester* diisi. Produksi biogas yang banyak umumnya terjadi pada 20 – 25 hari dan kemudian produksinya turun jika *biodigester* tidak diisi kembali.

Selama proses penguraian secara *anaerob*, komponen nitrogen berubah menjadi amonia, komponen belerang berubah menjadi H₂S, dan komponen fosfor berubah menjadi *orthophosphates*. Beberapa komponen lain seperti kalsium, magnesium, atau sodium berubah menjadi jenis garam (Dennis A., 2001). Lebih lengkapnya, daftar berikut ialah beberapa tujuan pembuatan *biodigester*.

1. Mengurangi jumlah padatan. Karena padatan terurai menjadi gas dan tidak semua padatan dapat terurai, maka tujuan dari proses *digestion* ialah mengurangi jumlah padatan.
2. Membangkitkan energi. Sebagaimana diketahui, target utama dari proses *digestion* ialah menghasilkan gas CH₄ yang mengandung energi 50 MJ/kg. semakin besar kandungan CH₄ dalam biogas, semakin besar kandungan energi dalam biogas
3. Mengurangi bau dari kotoran. Biogas dapat ditunjukan untuk mengurangi bau dan bukan menghasilkan bau dari kotoran. Setidaknya dengan pembuatan *digester* bau yang dihasilkan selama proses *digestion* dapat diarahkan supaya tidak mengganggu kenyamanan hidup manusia.
4. Menghasilkan air buangan yang bersih. Sebagian air setelah proses *digestion* harus dikeluarkan. Bersihnya air buangan ini menjadi sangat penting jika akan

digunakan untuk irigasi. Sebagai air buangan juga dapat dikembalikan lagi ke dalam *digester*.

5. Menghasilkan padatan yang mengandung bahan gizi untuk pupuk. Padatan yang tidak terurai menjadi gas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk asalkan masih mengandung bahan gizi yang baik. Padatan yang dihasilkan juga harus dijaga dari zat – zat berbahaya

2.2.1 Jenis – jenis *Biodigester*

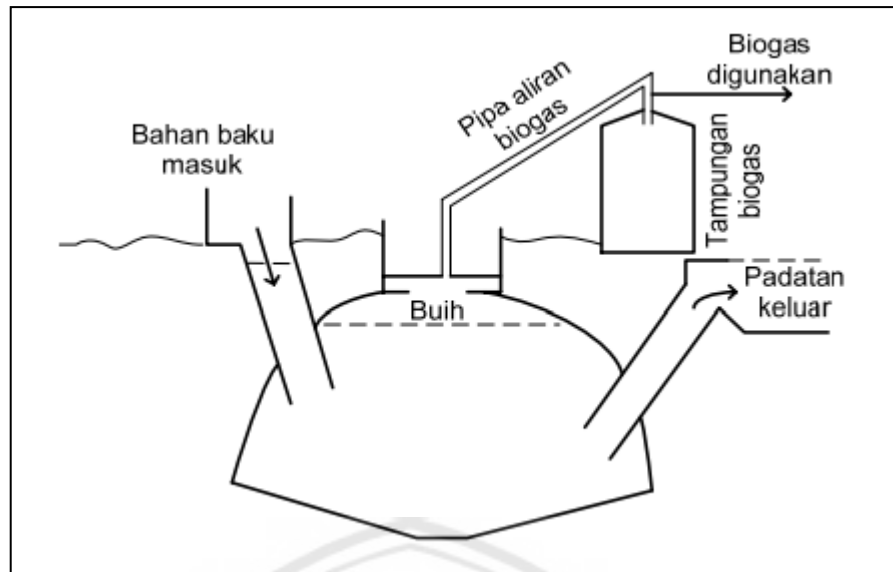
Terdapat beberapa jenis *biodigester* yang dapat dilihat berdasarkan konstruksinya, jenis alirannya, dan posisinya terhadap permukaan tanah. Jenis *biodigester* yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan *biodigester* tersebut. Hal ini penting ialah apapun jenis *biodigester* yang dipilih nantinya, tujuan utama pembuatan *biodigester* ialah mengurangi jumlah kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi.

Umumnya, kotoran merupakan campuran fasa padat dan cair dengan perbandingan tertentu. Energi dihasilkan dari padatan kotoran tersebut. Pada saat menginginkan hasil biogas yang kontinu tanpa bantuan pompa dan *biodigester* harus didesain supaya tidak terjadi penyumbatan. Padatan yang dihasilkan setelah proses *digestion* juga harus dapat dipisahkan secara alami tanpa bantuan peralatan dari luar. Padatan yang dihasilkan kemudian dapat dengan mudah dikeluarkan dari *digester*.

Dari segi konstruksi, *digester* dibedakan menjadi :

1. *Fixed Dome* (Kubah Tetap)

Digester jenis ini mempunyai volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam reaktor (*biodigester*). Karena itu, dalam konstruksi *biodigester* jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema *digester* jenis kubah tetap dapat dilihat pada Gambar 2.3. Tabel 2.7 merupakan kelebihan dan kekurangan *digester* jenis kubah tetap.

Gambar 2.3 *Digester* jenis kubah tetap (*fixed dome*)

Sumber : Sasse, 1988

Tabel 2.7 Kelebihan dan kekurangan *digester*

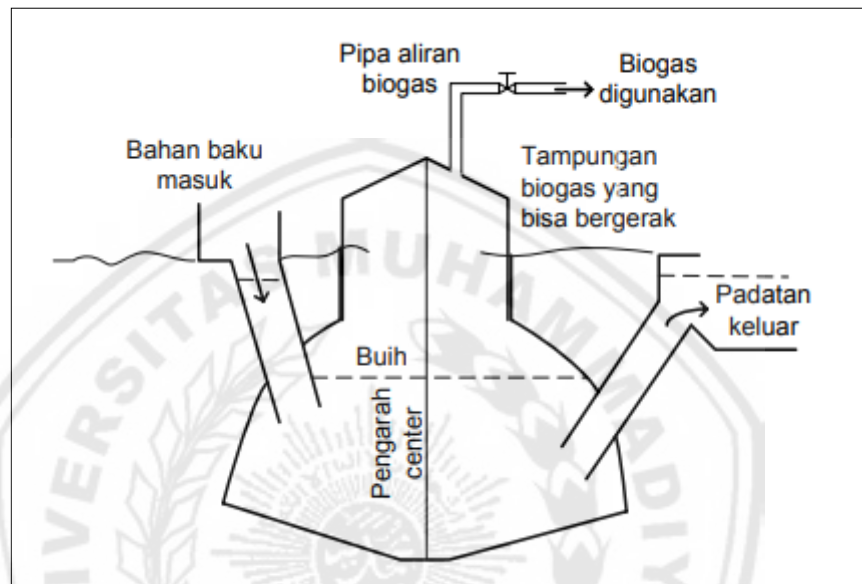
Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksinya rendah. 3. Tidak terdapat bagian yang bergerak. 4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat. 5. Umurnya panjang. 6. Dapat dibuat di dalam tanah sehingga menghemat tempat. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian dalam reaktor tidak terlihat (khususnya yang dibuat di dalam tanah) sehingga jika terjadi kebocoran tidak segera terdeteksi. 2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi. 3. Temperatur <i>digester</i> rendah.

Sumber : Sasse, 1988

2. *Floating Dome* (Kubah Apung)

Pada *digester* ini terdapat bagian reaktor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah dimulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak tadi juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Dengan model ini, kelemahan

tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor *biodigester* jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan biogas dapat dijaga konstan. Kelemahannya ialah membutuhkan keterampilan khusus untuk membuat tampungan gas yang dapat bergerak. Kelemahan lainnya dari *biodigester* jenis ini ialah material dari tampungan yang dapat bergerak juga harus dipilih dari material yang tahan korosi dan otomatis harganya lebih mahal.



Gambar 2.4 *Digester* jenis kubah apung (*floating dome*)

Sumber : Sasse, 1988

Dari segi aliran bahan baku untuk reaktor biogas, *biodigester* dibedakan menjadi:

a. Bak (*Batch*)

Pada *biodigester* jenis bak, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah (bak) dari sejak awal hingga selesainya proses *digestion*. Biodigester jenis ini umumnya digunakan pada tahap ekesperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

b. Mengalir (*Continuous*)

Untuk *biodigester* jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor *digester* disebut waktu retensi (*retention time* / RT).

Dilihat dari segi tata letak penempatan, *biodigester* dibedakan menjadi:

- a. Seluruh *biodigester* diatas permukaan tanah. Biasanya *biodigester* jenis ini dibuat dari tong – tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini ialah volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain ialah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk pembuatan skala besar, *biodigester* jenis ini jelas memerlukan luas lahan yang besar juga.
- b. Sebagian tangki *biodigester* diletakan dibawah permukaan tanah. Biasanya *biodigester* ini terbuat dari campuran semen, pasir, krikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau kontruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini ialah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat kedalam bahan baku biogas, sehingga menghambat proses bekerjanya bakteri. Ingat kembali bahwa bakteri akan bekerja secara optimum pada temperatur tertentu saja.
- c. Seluruh tangki *biodigester* diletakan dibawah permukaan tanah. Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi *biodigester* dibuat didalam tanah dengan kontruksi yang permanen. Selain dapat menghemat tempat atau lahan, pembuatan *biodigester* didalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperatur *biodigester* stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri *methanogen*. Kekurangannya ialah jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

2.2.2 Komponen Utama *Biodigester*

Komponen – komponen *biodigester* cukup banyak dan sangat bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat *biodigester* tergantung pada jenis *biodigester* yang digunakan dan tujuan pembangunan *biodigester*. Tetapi secara umum *biodigester* terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut :

1. Saluran Masuk *Slurry* (Kotoran Segar)

Saluran ini digunakan untuk memasukan *slurry* (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam reaktor utama. Tujuan pencampuran ialah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalir bahan baku, dan menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *Digestion* (Ruang Fermentasi)

Ruangan *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya proses *digestion* dan dibuat kedap terhadap udara. Ruangan ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.

3. Saluran Keluar Residu (*Sludge*)

Fungsi saluran ini ialah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami proses *digestion* oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* (lumpur) masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki Penyimpanan Biogas

Tujuan dari tangki penyimpanan gas ialah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses *digestion*. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floating dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam.

Selain empat komponen utama tersebut, pada sebuah *biodigester* perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas yang jumlahnya banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung ialah:

1. Katup Pengaman Tekanan (*Control Valve*)

Fungsi dari katup pengaman ialah sebagai pengaman *biodigester* dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan biogas dalam tabung penampung berlebih dari tekanan yang diizinkan maka biogas akan dibuang

keluar. Selanjutnya tekanan dalam *biodigester* turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya *digester* dibuat dari material yang tidak tahan pada tekanan yang tinggi supaya biaya pembuatan *biodigester* tidak mahal.

2. Sistem Pengaduk (*Mixer*)

Pada *digester* yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting. Untuk *digester* kecil misalnya untuk 3 – 5 ekor sapi, sistem pengaduk dapat ditiadakan. Tujuan dari pengadukan ialah untuk mengurangi pengendapan dan menyediakan populasi bakteri yang seragam sehingga tidak dapat lokasi yang “mati” dimana tidak terjadi proses *digestion* karena tidak terdapat bakteri. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju kebagian penampung biogas. Pengadukan dapat dilakukan dengan:

- a. Pengadukan mekanis yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling – baling dan digerakkan dengan motor listrik secara berkala.
- b. Mensirkulasi bahan dalam *digester* dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui atas *biodigester*.

Pada saat melakukan proses pengadukan hendaknya dilakukan dengan pelan. Sebagai mana diketahui bahwa tumbuhnya bakteri membutuhkan media yang cocok. Media yang cocok sendiri terbentuk dari bahan organik secara alami dan membutuhkan waktu tertentu (ingat kembali *rotation time*) sehingga pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat proses *digestion* justru terhambat. Tidak ada panduan yang pasti seberapa lambat pengadukan dilakukan. Dan bagaimana frekuensinya karena proses pengadukan sangat tergantung dari bahan baku yang digunakan. Untuk bahan baku yang dengan air dan tidak membentuk stratifikasi justru tidak diperlukan adanya pengadukan.

3. Saluran Biogas

Tujuan dari saluran gas ialah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan dari *biodigester*. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Kebocoran biogas dapat sangat berbahaya karena dapat menimbulkan kebakaran. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya tahan terhadap temperatur pembakaran yang tinggi.

2.2.3 Kondisi *Biodigester* yang Baik

Tujuan utama dari pembuatan *biodigester* ialah membuat suatu tempat kedap udara supaya bahan organik dapat terurai secara biologi yaitu dengan bantuan bakteri alami. Hasil dari proses penguraian bahan organik tersebut dapat dihasilkan gas yang mengandung CH_4 dengan konsentrasi yang tinggi. Untuk itu pada saat membuat *biodigester*, maka perlu diperhitungkan beberapa hal yaitu :

1. Lingkungan *Anaerob*

Biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan *anaerob* yaitu tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Udara mengandung oksigen sebanyak 21 Vol % sehingga jika memasuki *biodigester* dapat menyebabkan penurunan produksi metana. Penyebabnya ialah bakteri alami untuk proses penguraian bahan organik membutuhkan kondisi kedap udara, sehingga jika terdapat udara yang mengandung oksigen menyebabkan bakteri berkembang secara tidak sempurna.

2. Temperatur Dalam *Biodigester*

Secara umum terdapat 3 rentang temperatur yang disenangi oleh bakteri yaitu :

- a. Bakteri fermentasi *Psicrophilic* yang hidup pada temperatur 8 – 25° C. bakteri ini biasanya berkembang pada negara – negara subtropis atau beriklim dingin. Kondisi optimumnya dalah pada temperatur 15 – 18° C. waktu penyimpanan (*Retention Time, RT*) dalam digester ialah lebih dari 100 hari.

- b. Bakteri fermentasi *Mesophilic* yang hidup pada temperatur 35 – 37° C. bakteri ini dapat berkembang pada negara – negara tropis seperti di Indonesia. Untuk itu kondisi *biodigester* yang dibangun di Indonesia tidak perlu dipanasi. *Biodigester* yang dibangun didalam tanah mempunyai keuntungan tersendiri, yaitu temperatur cenderung konstan sehingga baik untuk pertumbuhan bakteri. Temperatur dimana bakteri ini bekerja secara optimum ialah pada 35 – 45° C. Waktu penyimpanan (*Retention Time, RT*) dalam *biodigester* ialah lebih dari 30 – 60 hari.
- c. Bakteri fermentasi *Thermophilic* yang hidup pada temperatur 53 – 55°C. Bakteri yang berkembang pada temperatur yang tinggi umumnya digunakan hanya untuk mengurai material, bukan untuk menghasilkan biogas. Waktu penyimpanan (*Retention Time, RT*) dalam *biodigester* ialah lebih dari 10 – 16 hari.

Temperatur minimum supaya bakteri berkembang selama proses fermentasi *anaerob* khususnya pada *biodigester* yang tidak dipanasi ialah 15°C (Uli Werner, 1989). *Biodigester* yang beroperasi pada temperatur dibawah 15°C hanya diperoleh biogas yang jumlahnya terbatas sehingga sangat tidak ekonomis. Oleh karena itu pada daerah yang dingin pada saat membuat *biodigester* perlu dipertimbangkan adanya pemakaian bahan penyekat biogas.

1. Derajat Keasaman (pH) dalam *Biodigester*

Bakteri alami penguraian bahan organik dapat berkembang dengan baik pada keadaan yang sedikit asam yaitu pH antara 6,6 – 7. Beberapa peneliti lain menyarankan bahwa untuk produksi biogas yang optimum diperlukan kondisi yang sedikit basah dengan pH antara 7 – 8,5. Namun demikian perbedaan tersebut tidak terlalu jadi masalah karena selama proses fermentasi *anaerob*, pH dalam *biodigester* akan berada pada angka sekitar 7. Selain itu derajat keasaman dalam *biodigester* sangat dipengaruhi oleh bahan baku yang berupa bahan organik. Karena pada tahap awal fermentasi dapat terbentuk asam, maka derajat keasaman akan turun. Beberapa menyarankan untuk penambahan larutan kapur (CaOH_2) atau kapur (CaCO_3) supaya derajat keasaman kembali

naik ke angka sekitar 7,0. Jika derajat keasaman turun dibawah 6,2, maka bakteri *methanogen* akan keracunan dan akibatnya produksi biogas menurun.

2. Kebutuhan Nutrisi

Bakteri fermentasi membutuhkan beberapa bahan nutrisi dan sedikit logam. Kekurangan salah satu nutrisi atau bahan logam yang dibutuhkan dapat memperkecil proses produksi metana. Nutrisi yang diperlukan antara lain nitrogen, sulfur, fosfor, potasium, kalsium, magnesium, dan sejumlah logam seperti besi, mangan, molibdenum, seng, kobalt, selenium, nikel, dan lainnya. Bahan baku berupa bahan organik pada umumnya sudah mengandung zat nutrisi yang disebutkan di atas dalam jumlah yang cukup. Tabel 2.8 memberikan gambaran tentang konsentrasi maksimum beberapa zat yang diizinkan dalam *biodigester*. Keberadaan beberapa zat yang disebutkan dalam jumlah yang banyak justru dapat menghambat proses pembentukan biogas.

Tabel 2.8 Batasan Konsentrasi Beberapa Zat yang Diizinkan Terdapat Dalam *Biodigester*

Zat	Konsentrasi (mg/l)
Tembaga	10 – 250
Kalsium	8.000
Sodium	8.000
Magnesium	3.000
Nikel	100 – 1.000
Seng	350 – 1.000
Chromium	200 – 1.000
Sulfur	200
Cyanide	2

Sumber : Werner Kossman, 1999

3. Kadar Padatan (TS)

Tiap jenis bakteri memiliki nilai “kapasitas kebutuhan air” tersendiri. Bila kapasitasnya tepat, maka aktifitas bakteri juga akan optimal. Proses pembentukan biogas mencapai titik optimum apabila konsentrasi bahan kering terhadap air ialah 0,26 kg/l. Pada umumnya proses pencampuran antara bahan organik dan air berkisar antara 1:1 sampai 1:2.

4. Pengadukan (lihat sub bab 2.2.2)

5. Pengaruh *Starter*

Starter yang mengandung bakteri *methanogen* diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi *anaerob*. Beberapa jenis *starter* antara lain:

- a. *Starter* alami, yaitu lumpur aktif seperti lumpur kolam ikan, air comberan atau cairan *septic tank*, *sludge*, timbunan kotoran, dan timbunan sampah organik. Kotoran sapi juga merupakan *starter* alami yang baik karena secara alami karena kaya akan bakteri metana.
- b. *Starter* semi buatan, yaitu fasilitas *biodigester* dalam stadium aktif.
- c. *Starter* buatan, yaitu bakteri yang diabaikan secara laboratorium dengan media buatan.

2.2.4 Perancangan Biodigester

Ukuran dari *biodigester* tergantung dari kualitas, kualitas bahan organik, jenis bahan organik yang ada dan temperatur proses fermentasi. Ukuran *biodigester* dapat dinyatakan dengan volume digester (V_d). Secara umum V_d dapat diperhitungkan dari

$$V_d = S_d \times RT \quad [m^3] \quad (2.1)$$

Dimana

S_d = ialah jumlah masukan bahan baku setiap hari [m^3 /hari]

RT = *retention time* (waktu bahan baku berada dalam *digester*) [hari]

Pada umumnya RT dipengaruhi oleh temperatur operasi dari *biodigester*. Untuk di Indonesia karena temperatur sepanjang musim yang hampir stabil, maka

banyak *biodigester* dibuat dan beroperasi pada temperatur kamar (*unheated biodigester*). Pada kondisi *biodigester* semacam ini, dalam perancangan *biodigester*, temperatur operasi dapat dipilih 1 – 2°C diatas temperatur tanah. Sedangkan RT untuk *biodigester* sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari (Uli Werner, 1989).

Pemasukan bahan baku tergantung seberapa banyak air harus dimasukan kedalam *biodigester* sehingga kadar bahan baku padatnya sekitar 4 – 8 %

$$S_d = \text{Padatan} + \text{Air} \quad [\text{m}^3/\text{hari}] \quad (2.2)$$

Umumnya, pencampuran kotoran dari air dibuat dengan perbandingan 1:3 dan 2:1 (Uli Werner, 1989). Di Indonesia, untuk kotoran sapi pada umumnya dicampur dengan air pada perbandingan 1:1 sampai 1:2 (Suyitno, 2010).

Sehingga ukuran dari *biodigester* ditentukan, maka langkah selanjutnya ialah merancang gas penampung. Volume dari penampung gas dinyatakan dengan V_g . Dalam perancangan ukuran penampungan gas (V_g) harus diperhatikan laju konsumsi gas puncak (V_{g1}) dan laju konsumsi nol untuk jangka waktu yang lama (V_{g2})

$$V_g = \begin{cases} V_{g1} & \text{jika } V_{g1} > V_{g2} \\ V_{g2} & \text{jika } V_{g2} > V_{g1} \end{cases} \quad [\text{m}^3] \quad (2.3)$$

$$V_{g1} = \text{Konsumsi gas maks per jam} \times \text{Waktu konsumsi maks} \quad (2.4)$$

$$V_{g2} = G \times t_{z \text{ maks}} \quad (2.5)$$

Dimana

G = ialah produksi biogas [m^3/jam]

$t_{z \text{ maks}}$ = waktu maksimum pada saat konsumsi biogas nol [jam]

Besarnya G (produksi biogas perjam, m^3/jam) dihitung dari produksi biogas sepesifik (G_y) dari bahan baku dan pemasukan bahan baku harian (S_d)

$$G = \frac{G_y \times S_d}{24} \quad [\text{m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ hari} / 24 \text{ jam} = \text{m}^3/\text{jam}] \quad (2.6)$$

Dimana G_y dapat diperkirakan pada tabel 2.10. Perkiraan produksi biogas dari beberapa jenis kotoran yang lain dapat dilihat pada tabel 2.9

Untuk Keselamatan, ukuran dari penampung gas (V_g) dibuat 10 – 20 % lebih besar dari hasil perhitungan. Secara umum, perancangan volume *biodigester* dengan volume penampung biogas dapat dibuat dengan perbandingan 3:1 sampai 10:1 dengan 5:1 sampai 6:1 ialah yang paling umum digunakan (Uli Werner, 1989).

Jumlah material organik dan air yang ditambahkan kedalam *digester* setiap hari merupakan sesuatu yang sangat penting untuk *digester* jenis kontinu. Pemasukan material organik dan air yang terlalu banyak dapat mengganggu kinerja *digester*, yaitu turunnya derajat keasaman.

Tabel 2.9 Perkiraan Produksi Biogas Dari Beberapa Jenis Kotoran

Jenis Kotoran	Perkiraan Produksi Biogas m ³ /kg Kotoran
Sapi / Kerbau	0,023 – 0,04
Babi	0,04 – 0,059
Unggas	0,065 – 0,116
Manusia	0,02 – 0,028
Kuda	0,02 – 0,035
Domba / Kambing	0,01 – 0,031
Jerami padi	0,017 – 0,028
Jerami jagung	0,035 – 0,048
Rumput	0,028 – 0,055
Rumput Gajah	0,033 – 0,056
Bagase	0,014 – 0,019
Sayuran	0,03 – 0,04
Alga	0,038 – 0,055

Sumber : Uli Werner, 1989

Tabel 2.10 Perkiraan Produksi Biogas dari Berbagai Kotoran Hewan pada Temperatur 22 – 27 oC

Jenis Kotoran	Sapi (bobot 200 – 300 kg)			Kerbau (bobot 300 – 450 kg)			Babi (bobot 50 – 60 kg)		
	Produksi kotoran (kg/hari)	Produksi gas (m ³ /hari)		Produksi kotoran (kg/hari)	Produksi gas (m ³ /hari)		Produksi kotoran (kg/hari)	Produksi gas (m ³ /hari)	
		RT = 60	RT = 80		RT = 60	RT = 80		RT = 60	RT = 80
Hanya kotoran (basah), lantai tidak berubin (rugi – rugi 10%)	9 - 13	0,3 – 0,45	0,35 – 0,5	14 - 18	0,045 – 0,054	0,3 – 0,62	-	-	-
Kotoran dan urine, lantai beton	20 - 30	0,35 – 0,51	0,45 – 0,61	30 - 40	0,045 – 0,6	0,54 – 0,71	2,5 – 3,0	0,12 – 0,14	0,15 – 0,18
Kotoran stabil (kotoran + 2 kg pakam), lantai beton	22 - 32	0,45 – 0,63	0,53 – 0,73	32 - 42	0,055 – 0,74	0,63 – 0,89	-	-	-
Cy									
Untuk 1 L kotoran/hari		0,02	0,025		0,02	0,024		0,05	0,06
Untuk 1 kg kotoran/hari		0,022	0,027		0,022	0,026		-	-

Sumber : Uli Werner, 1989

2.3 Sistem Perpipaan

Pada dasarnya sistem pipa dan detail untuk setiap perencanaan tidak jauh beda, perbedaan – perbedaan mungkin terjadi hanya pada kondisi khusus atau batasan tertentu yang diminta pada setiap proyek. Dalam pemakaian pipa, banyak sekali yang diperlukan sambungan – sambungan antara pipa dengan peralatan yang diperlukan seperti katub (*valve*), instrumentasi, nozel (*nozzle*) peralatan atau sambungan untuk merubah arah aliran (Raswari, 1987).

2.3.1 Bahan – bahan Pipa Secara Umum

Bahan – bahan pipa yang sering digunakan di pasaran ialah struktur bahan baru pipa tersebut yang dapat secara umum sebagai berikut:

1. *Carbon steel*.
2. *Carbon noly*.
3. *Galvanes*.
4. *Ferro nikel*.
5. *Stainless steel*.
6. *PVC* (paralon).
7. *Chrome moly*.

Sedangkan bahan – bahan pipa yang secara khusus dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. *Vibre glass*.
2. *Aluminium (aluminum)*.
3. *Wrought iron* (besi tanpa tempa).
4. *Copper* (tembaga).
5. *Red brass* (kuningan merah).
6. *Nickel copper / monel* (timah tembaga).
7. *Nickel chrom iron / inconel* (besi timah *chrom*).

2.3.2 Komponen Perpipaan

Komponen perpipaan harus dibuat berdasarkan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan kode yang telah dibuat atau dipilih sebelumnya. Komponen perpipaan yang dimaksud meliputi:

1. *Pipes* (pipa – pipa).
2. *Flanges* (flens – flens).
3. *Fittings* (sambungan).
4. *Valves* (katup – katup).
5. *Boltings* (baut – baut).
6. *Gasket*.
7. *Special items* (bagian khusus).

2.3.3 Pemilihan Bahan

Pemilihan bahan dapat dilakukan dan disesuaikan dengan pembuatan teknik perpipaan dan hal ini dapat dilihat pada standar ASTM serta ANSI dalam pembagaian sebagai berikut:

1. Perpipaan untuk pembangkit tenaga.
2. Perpipaan untuk industri bahan gas.
3. Perpipaan untuk penyulingan minyak mentah.
4. Perpipaan untuk pengangkutan minyak.
5. Perpipaan untuk proses pendinginan.
6. Perpipaan untuk tenaga nuklir.
7. Perpipaan untuk distribusi dan transmisi gas.

Selain dari penggunaan instalasi atau konstruksi seperti yang diterangkan perlu diketahui jenis aliran temperatur, sifat korosi, faktor gaya serta kebutuhan lainnya dari aliran serta pipanya.

2.3.4 Macam Sambungan Perpipaan

Sambungan perpipaan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sambungan dengan menggunakan pengelasan.
2. Sambungan dengan menggunakan ulir.

Selain sambungan tersebut, terdapat pula penyambungan khusus menggunakan pengeleman (perekatan) serta pengeleman (untuk pipa plastik dan pipa *vibbre glass*). Pada pengelingan umumnya pipa bertekanan rendah dan pipa dibawa 2" sajalah yang menggunakan sambungan ulir (Raswari, 1987).

Sambungan cabang merupakan bentuk sambungan (*brance conection*) yang sering digunakan, tipe sambungan cabang dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sambungan langsung (*stub in*).
2. Sambungan dengan menggunakan *fittings* (alat penyambung).
3. Sambungan dengan menggunakan *flanges* (flens – flens).

Tipe sambungan cabang pula dapat ditentukan pada spesifikasi yang telah dibuat sebelum mendesain atau dapat pula dihitung berdasarkan perhitungan kekuatan, kebutuhan, dengan tidak melupakan faktor efektivitanya. Sambungan cabang itu sendiri merupakan sambungan antara pipa dengan pipa, misalkan sambungan antara *header* dengan cabang yang lainnya yang memerlukan alat bantu penyambung atau dapat dihubungkan secara langsung, hal ini tergantung serta memperhitungkan kekuatan.

2.3.5 Pemasangan Pipa Diatas Tanah

Pemasangan ini dapat dilakukan pada rak pipa (*pipe rack*), diatas penyangga – penyangga pipa, atau diatas dudukan pipa (*sleeper*). Pada perancangan pipa di atas tanah ini dapat pula memasukan pipa peralatan (*equipment*) yaitu pipa kolom dan *vessel*, pipa *exchanger*, pipa pompa dan turbin, pipa kompresor dan pipa utilitas.

1. Pipa Kolom dan *Vessel*

Pipa yang akan dipasang pada kolom dan *vessel* harus ditempatkan secara radial di sekitar kolom, di bagian jalur pipa, jalan orang, platform di bagian *access*. Untuk pipa 18" keatas bisa langsung dilas ke *vessel*, kecuali pertimbangan pemeliharaan dan akan digunakan sambungan *flange*. Sambungan dalam *skirt* tidak boleh ditempatkan katup atau *flange*. Penggunaan *vent atmosferis* berkatup dan bertudung harus disediakan pada tempat lokasi titik tertinggi dari *vessel* atau jalur pipa di atasnya, sedangkan *drain* dipasang pada tempat lokasi terendah yang akan ditentukan oleh P & ID.

Katup pelapas tekanan yang membuang ke dalam sistem *blowdown* tertutup harus ditinggikan guna memungkinkan bagian pengeluaran pengaliran sendiri kedalam sistem *blowdown*. Katup pelepas tekanan yang membuang uap ke udara bebas harus dilengkapi dengan pipa paling sedikit 3 meter di atas setiap platform dalam radius 7,5 meter, juga disediakan lubang pembuangan yang besarnya 6 mm (1/4") di bawa pipa guna mencegah akumulasi cairan (Raswari, 1987).

2. Pipa *Exchanger*

Pemasngan pipa pada *exchanger* tidak boleh dipasang di atas daerah – daerah kanal, tutup *shell* dan fasilitas – fasilitas lain yang telah terpasang pada *exchanger* atau *handling* yang sering digunakan. Ruang – ruang bebas untuk pemasangan *flange exchanger* harus disediakan. *Spool* dipasang di luar *nozzle* guna memungkinkan pemindahan *bundel* pipa *exchanger*.

3. Pipa Pompa dan Turbin

Pipa *suction* atau pipa yang mengalirkan aliran disebut pipa hisap harus diatur sedemikian rupa guna mencegah penurunan tekanan dan kantung uap yang dapat pula menimbulkan kavitasi pada impeler. Apabila ukuran diperlukan untuk mempercepat atau memperlambat aliran, maka reduser eksentris harus dipakai jika kantung tanpa *vent* tidak dapat dihindari. Pemasangan pipa pada pompa dan turbin harus diatur sedemikian rupa, sehingga mudah untuk

perawatan dan perbaikan. Hal ini penting untuk mencegah pembongkaran besar yang tak perlu pada pemeliharaan dan perbaikan pipa. Saringan permanen dan sementara harus disediakan pada *inlet* pompa dan turbin. Sedangkan untuk aliran panas dan dingin harus diperhatikan fleksibilitasnya, begitu pula kedudukan – kedudukan penyangga haruslah baik dan dapat mengatasi getaran – getaran yang diakibatkan motor pipa serta aliran.

4. Pipa Kompresor

Pemasangan pipa pada kompresor harus diatur untuk perbaikan dan pemeliharanya. Sambungan pipa dengan menggunakan *flanges* lebih diutamakan demi memperlancar jalannya perbaikan dan pemeliharaan. Pipa hisap (*suction*) dan buang (*discharge*) harus benar – benar diperhatikan fleksibilitasnya, terutama untuk temperatur rendah atau tinggi dan tekanan tinggi. Masalahnya getaran termasuk bagian terpenting pada pipa kompresor ini, akibat adanya beban dinamis yang berhubungan dengan kompresor. Karena itu masalah penyangga, *guide*, dan *anchor* juga harus menjadi perhatian.

5. Pipa Utilitas

Pemasangan pipa utilitas harus benar – benar direncanakan sehingga kebutuhan utilitas proyek dapat terjangkau penggunaannya. Pipa utilitas seperti pipa yang lain dapat direncanakan untuk beroperasi pada temperatur dan tekanan yang bervariasi. Perencanaan *subheader* dapat memenuhi daerah *equipment* proses atau kelompok peralatan lainnya yang memerlukan jalur utilitas. Sambungan cabang ditempatkan dari atas *header*. Jika aliran utilitas berupa uap disarankan untuk membuat kantung – kantung uap pada setiap daerah titik terendah dimana aliran akan naik.

2.3.6 Pemasangan Pipa Dibawah Tanah

Pipa bawah tanah merupakan pemasangan sistem perpipaan yang sengaja di pasang didalam tanah, pipa dibawah tanah dapat dibagi menjadi dua bagian, diantaranya:

1. Pipa Proses.
2. Pipa Utilitas

Pipa proses bawah tanah sedapat mungkin dihindarkan, sedangkan pipa utilitas bawah tanah dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu:

- a. Pipa untuk aliran berdasarkan aliran gravitasi.
- b. Pipa dengan sistem aliran bertekanan.

Sistem aliran gravitasi tergantung dari pusat gravitasi, karena itu akibatnya jalur – jalur perpipaan harus mempunyai *slope*. Disarankan perbandingan *slopenya* ialah 1:100 untuk jalur di bawah tanah.

Perpipaan digunakan untuk sistem sebagai berikut:

1. Air jernih termasuk air hujan, air pembersih, air pemadam kebakaran, yang biasa digunakan, dikumpulkan serta dipisahkan dari minyak yang mungkin terdapat dalam sistem tersebut atau yang akan menuju ke sistem tersebut (sungai atau kolam).
2. Proses pembuangan, baik pembuangan air, minyak, termasuk pembuangan dari kantong uap dan pembuangan dari pomp, *vessel*, dan sambungan serta kotoran pembuangan. Pada sistem instalasi ke bagian pemisahan dan hidrokarbonnya biasanya dinetralkan.
3. Kombinasi pembuangan ialah merupakan pengumpulan dari seluruh pembuangan dengan (utilitas) sistem perpipaan. Sistem kombinasi ini harus dialirkan menuju tempat pemisahan yang besar untuk membawa dan mengkombinasikan aliran dalam pemisahan hidrokarbon dari air.
4. Pembuangan kotoran manusia akan dialirkan ke suatu tempat khusus (*septic tank*) yang berada di daerah yang telah ditentukan.
5. Pembuangan bahan korosi direncanakan sebagai suatu sistem pemisah pembuangan di dalam suatu unit. Pada setiap unit tersebut akan dikumpulkan pada suatu jalur pipa utama dan dialirkan ke kolam pembuangan khusus.

Dalam sistem yang begitu luas, penggunaan material untuk konstruksi akan berbeda – beda. Di dalam pemilihan bahan harus diperhatikan aliran apa yang

akan melalui pipa tersebut. Di dalam pelaksanaan konstruksi perlu juga dicantumkan jarak elevasi dari permukaan tanah ke dalam jalur perpipaan bawah tanah. Begitu juga ketebalan anti karat, isolasi, selubung atau perlindungan pipa lainnya. Perhitungan dimensi dari pipa atau elevasi pipa diukur dari dasar pipa bawah tanah. Aliran dari cairan ditentukan oleh banyak atau sedikit *slope* suatu sistem gravitasi dan hubungan ini timbal balik. Saat melakukan perancangan dalam perancangan harus mempertimbangkan elevasi dari permukaan masuknya pipa. Selain itu perlu juga diperhitungkan tempat – tempat yang akan dipasang katup – katup blok. Begitu pentingnya pemilihan dari *reducer* yang menyangkut ketebalan serta bentuk alat penyambung maka istilah yang harus diketahui meliputi (Raswari, 1987) :

1. Pengumpulan dari pembuangan satu atau dua lateral biasanya ditempatkan pada suatu jalan pipa dengan memasang jalan masuk orang (*manholes*) untuk melindungi dari kebakaran dan meluapnya gas.
2. Laterals merupakan jalur pengumpul pembuangan dari suatu atau dua sublaterals dan dialirkan ke bagian jalur utama melalui *manholes* yang tertutup.
3. Sublaterals merupakan jalur pengumpul pembangunan dari cabang – cabang dan dikumpulkan pada suatu kolam penampung laterals.
4. Cabang – cabang merupakan saluran yang dikumpulkan dari berbagai cerobong – cerobong pembuangan atau kolam penampung yang diteruskan ke sublaterals.
5. Cerobong – cerobong merupakan tempat titik pengumpulan yang biasanya berjarak 2” dari permukaan yang telah dikerjakan, untuk pipa baja karbon, penggunaan *concentric swagereducer* 6” × 4” ialah yang biasanya digunakan. Ukuran cerobong minimal 4”.
6. Kolam penampung merupakan tempat pengumpulan pembuangan dari suatu permukaan. Kolam penampung ini biasanya berukuran 2 ft² dengan kedalaman 1 – 1,5 ft ditutup dengan kisi.
7. Jalan masuk orang merupakan pusat box pengumpulan dimana orang dapat

masuk ke dalamnya untuk membersihkan literal. Jalur aliran yang datang kembali ditutup untuk mencegah kebakaran atau aliran balik dari gas maupun kotoran.

2.3.7 Perencanaan Penggambaran P & ID

Piping and instrument diagram (P & ID) ialah merupakan suatu master plan dari suatu instalasi kilang yang memuat intruksi – instruksi umum bagi penggambaran :

1. Diagram aliran proses.
2. Proses perpipaan dan diagram instrumentasinya.
3. Perpipaan utiliti dan diagram instrumentasinya.

Dari master plan inilah model kilang dibuat dan seluruh jenis penggambaran konstruksi dibuat, atau dengan kata lain P & ID ialah suatu pedoman perencanaan dan operasi pada suatu pengilangan.

Pada umumnya penggambaran P & ID ialah suatu bentuk penggambaran yang cukup rumit kalau seandainya dilakukan secara langsung dan memakan waktu yang relatif jauh lebih lama. Sedangkan dalam pelaksanaan konstruksi gambar P & ID ini dapat dibuat duplikat atau reproduksi di dalam kertas transparan dengan menggunakan pensil biasa atau plastik, sehingga mudah untuk mengadakan perubahan- perubahan.

2.3.8 Prosedur Penggambaran P & ID

1. Penggambaran P & ID harus menyiapkan diagram akhir berdasarkan sketsa perencanaan diagram aliran proses.
2. Unit judul gambar akan ditentukan oleh devisi teknik.
3. Devisi teknik ini pun harus melengkapi seluruh informasi yang diperlukan pada penggambaran yang meliputi: nomor jalur dan ukuran pipa, spesifikasi bahan, komponen pipa, komponen – komponen instrumentasi, arah aliran, peralatan umum & khusus, keterangan umum dan khusus yang diperlukan.
4. Pengawasan P & ID harus melalui pengawasan proyek unit proses dan P & ID.

5. Setiap perubahan harus diketahui dan disetujui oleh perencanaan proyek, unit pengawasan gambar P & ID dan proses.
6. Penggambaran P & ID harus menggunakan identifikasi, kode – kode, simbol – simbol, standar, spesifikasi, yang telah ditetapkan untuk setiap pelayanan.
7. Setiap jalur yang melintang harus disepakati apakah jalur horizontal atau vertikal yang dipotong pada penggambaran (untuk keseragaman penggambaran).
8. Penyusunan peralatan seperti bejana – bejana, drum – drum, peralatan pengubah panas, peralatan pemanas kesemuanya ini sedapat mungkin dibuat di sebelah atas gambar.
9. Penyusunan pompa – pompa, kompresor – kompresor dan mesin sejenisnya dibuat di sebelah bawah gambar.
10. Pada peralatan tidak perlu diberi keterangan, tapi keterangan tersebut dapat diberikan di atas atau dibawah gambar.

